



Actualidades en el Uso de Ultrasonido Clínico en la Anestesiología Moderna: ¿Estamos infravalorando al Quinto Pilar del Examen Físico actual?

Current Advances in the Use of Clinical Ultrasound in Modern Anesthesiology: ¿Are We Underestimating the Fifth Pillar of the Contemporary Physical Examination?

López-Martínez Rogelio. Médico Anestesiólogo Egresado del Centro Médico American British Cowdray, Ciudad de México, México.

Anestesia en México 2026;38(1): 60-67. <https://doi.org/10.64221/aem-38-1-2026-008>

Fecha de recepción octubre 2025, fecha de revisión noviembre 2025, fecha de publicación enero 2026.
roveli96@gmail.com

Resumen

El ultrasonido se ha vuelto una herramienta indispensable para el anestesiólogo actual, sin embargo la balanza entre su enfoque en anestesia regional y su uso clínico hemodinámico o pulmonar, muestra un desproporcionado peso hacia el uso del mismo para mejorar las técnicas regionales, lo cual aunque es imprescindible en la medicina perioperatoria contemporánea en protocolos de recuperación acelerada, relega el uso clínico del ultrasonido para la diagnosis y abordaje hemodinámico, pulmonar y vascular. En este sentido, sigue siendo una herramienta poco valorada hoy en día dentro del arsenal de manejo integral del anestesiólogo moderno. Gran parte de ello se debe al escepticismo con el que se

aborda al uso del ultrasonido en un pilar tan crítico como la valoración clínica integral, relegándolo en el mejor de los casos a su uso para abordaje de accesos vasculares o a su implementación reciente en rutas diagnósticas de estómago lleno o de vía aérea difícil. Esta revisión examina entonces la evidencia actual, sobre las diversas aplicaciones de ultrasonido en perioperatoria, abordando protocolos como *POCUS* o *VExUS* en anestesiología, desde la evaluación hemodinámica avanzada hasta su integración con tecnologías actualizadas para optimizar el manejo cardiorrespiratorio del paciente de forma general. La evidencia demuestra consistentemente que esta postura mejora la seguridad del paciente, aumenta la precisión diagnóstica y permite personalización del



manejo perioperatorio, una meta reciente de todas las ramas de la medicina. Es ahora quizás el momento ideal para que el anestesiólogo moderno, aplique en la práctica diaria los abordajes diagnósticos guiados por ultrasonido clínico, con la finalidad única de mejorar la atención y pronóstico de los pacientes que tiene a su cargo, quedando lejos ya la época de la diagnosis meramente clínica.

Palabras clave: Ultrasonido *point-of-care* (POCUS), anestesiología, evaluación hemodinámica, accesos vasculares, ultrasonido pulmonar.

Abstract

Ultrasound has become an indispensable tool for the contemporary anesthesiologist; however, the balance between its focus on regional anesthesia and its clinical hemodynamic or pulmonary use shows a disproportionate weight toward its employment for improving regional techniques. While this is essential in contemporary perioperative medicine within accelerated recovery protocols, it relegates the clinical use of ultrasound for hemodynamic, pulmonary, and vascular diagnosis and management. In this regard, it remains an undervalued tool within the comprehensive management arsenal of the modern anesthesiologist. Much of this stems from the skepticism with which ultrasound use is approached in such a critical pillar as comprehensive clinical assessment, relegating it at best to its use for vascular access procedures or its recent implementation in diagnostic pathways for full stomach or difficult airway. This review thus examines the current evidence on the various perioperative ultrasound applications, addressing protocols such as POCUS or VExUS in anesthesiology, from advanced hemodynamic evaluation to its integration with updated technologies to optimize the patient's cardiohemodynamic management in general. The evidence consistently demonstrates that this approach improves patient safety, increases diagnostic precision, and enables personalization of perioperative management, a recent goal across all branches of medicine. Perhaps now is the ideal moment for the modern anesthesiologist to apply clinical ultrasound-guided diagnostic approaches in daily practice, with the sole purpose of improving the care and prognosis of patients under their charge, leaving far behind the era of merely clinical diagnosis.

Keywords: Point-of-care ultrasound (POCUS), anesthesiology, hemodynamic assessment, vascular access, pulmonary ultrasound

Introducción

El ultrasonido en el punto de atención (*Point-of-Care Ultrasound, POCUS*) ha trascendido su concepción inicial como herramienta tecnológica auxiliar para consolidarse como extensión fundamental de la clínica del médico, y el anestesiólogo contemporáneo no es la excepción. En la práctica actual, representa el denominado “quinto pilar” del examen físico, complementando la inspección, palpación, percusión y auscultación tradicionales (1).

Su capacidad para proporcionar información anatómica y fisiológica en tiempo real ha catalizado una transformación en la toma de decisiones perioperatorias, facilitando la transición desde la inferencia antigua basada en signos clínicos indirectos hacia la visualización directa de la patofisiología en vivo. (2)

En este sentido, la evolución del ultrasonido en anestesiología representa más que un avance técnico, constituyendo un cambio fundamental en el abordaje clínico. El anestesiólogo moderno puede interrogar directamente la función cardíaca, evaluar la aireación pulmonar y determinar el estado de volumen intravascular, correlacionando estos hallazgos con el contexto clínico de manera instantánea y tomar decisiones guiadas acorde a un abordaje clínico más preciso (3).

Esta capacidad ha transformado el manejo del paciente hemodinámicamente inestable, como un caso de hipotensión o choque hipovolémico, al enfoque actual de la aplicación de protocolos poblacionales como el *Early Goal-Directed Therapy*, permitiendo evaluación individualizada mediante protocolos como *FATE (Focus Assessed Transthoracic Echocardiography)*, determinación de precarga-dependencia y cuantificación de congestión venosa mediante *VExUS (Venous Excess Ultrasound)* (4,5). Esta revisión sistemática postula que la integración del POCUS ha redefinido los estándares de cuidado en anestesiología moderna. Su aplicación, respaldada por evidencia robusta, mejora demostrablemente la seguridad del paciente, aumenta la precisión de las intervenciones terapéuticas y permite personalización sin precedentes del manejo perioperatorio, a pesar de su falta de integración generalizada en la práctica diaria del anestesiólogo.

Metodología

Se realizó una búsqueda sistemática de literatura en bases de datos médicas incluyendo *PubMed*, *MEDLINE*, *SciELO* y *ResearchGate*, abarcando publicaciones desde el



año 2020 hasta 2025. Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, meta-análisis y guías de práctica clínica relacionadas con aplicaciones del ultrasonido en anestesiología y perioperatoria. Los criterios de inclusión comprendieron estudios en población adulta, aplicaciones perioperatorias del ultrasonido y evidencia sobre resultados clínicos. Se excluyeron reportes de casos aislados y estudios en población pediátrica exclusivamente.

Usos de la ultrasonografía clínica:

Evaluación y Monitorización Hemodinámica

Avanzada, Protocolo FATE y Diagnóstico del Choque

El protocolo *FATE* se ha consolidado como sistema de evaluación rápido, reproducible y accesible para el anestesiólogo no especializado en ecocardiografía (6).

El protocolo estándar comprende cuatro vistas esenciales: subcostal de cuatro cámaras, apical de cuatro cámaras, paraesternal eje largo y paraesternal eje corto. Mediante estas ventanas acústicas, se evalúa sistemáticamente: contractilidad ventricular global (izquierda y derecha), dimensiones de cavidades cardíacas, presencia de derrame pericárdico con compromiso hemodinámico y patología pleural significativa (7).

En el contexto del shock indiferenciado perioperatorio, el protocolo *FATE* permite hacer un diagnóstico diferencial rápido para tomar decisiones más precisas. Un ventrículo izquierdo hiperdinámico con cavidad colapsada sugiere choque hipovolémico o distributivo; la disfunción ventricular izquierda severa indica choque cardiogénico; la dilatación aguda del ventrículo derecho con hipocinesia de pared libre y signo de *McConnell* sugiere embolia pulmonar masiva (8).

Todo esto, sin necesidad de valorar cuantitativamente la macro hemodinamia ni acoplamiento ventrículo pulmonar, sino simplemente observando el patrón cualitativo cameral y pulmonar, lo que lo hace clínicamente atractivo aun cuando no se cuente con un alto expertise.

Las guías de la Sociedad Europea de Anestesiología y Cuidados Intensivos (ESAIC) recomiendan el uso de ecocardiografía para identificar la etiología del paro cardíaco perioperatorio (recomendación débil, calidad de evidencia baja, 2C) (9).

En un estudio multicéntrico de 2021 que incluyó 3,265 pacientes en paro cardíaco, aunque la sensibilidad para supervivencia al alta fue baja (6.2 %), se documentó

sensibilidad del 23.8 % para retorno de circulación espontánea, destacando su valor para decisiones en tiempo real durante la reanimación (10).

Valoración de la Macro Hemodinamia:

Predictores Dinámicos de Respuesta a Fluidos

El paradigma de reanimación con fluidos ha experimentado una transformación fundamental, abandonando parámetros estáticos como la presión venosa central en favor de índices dinámicos que evalúan la interacción cardiopulmonar (11).

Hablando de ultrasonografía, el primer ejemplo es la variación del Diámetro de la Vena Cava Inferior (ΔVCI). Este parámetro cuantifica la variación respiratoria del diámetro de la VCI mediante modo M en ventana subcostal. Una variación >12 o $>40\%$ (valores para colapsabilidad y distensibilidad) sugiere posición en la porción ascendente de la curva de *Frank-Starling* y probable respuesta a volumen (12).

Sin embargo, para el caso de la distensibilidad de la VCI, su aplicabilidad está limitada a pacientes en ventilación mecánica controlada, sin esfuerzo respiratorio espontáneo, volumen corriente ≥ 8 ml/kg, ritmo sinusal, sin hipertensión intraabdominal y sin disfunción ventricular derecha severa.

Otra medida útil es la variación de la Integral Velocidad-Tiempo del Tracto de Salida del Ventrículo Izquierdo (ITV). Este método es más robusto y mide la variación del volumen sistólico mediante Doppler pulsado en vista apical cinco cámaras. Una variación $>12\%$ predice respuesta a fluidos con área bajo curva ROC de 0.92, además de permitir calcular el gasto cardíaco del paciente si se asocia a la fórmula para traducir el volumen diastólico del ventrículo izquierdo y se multiplica por la frecuencia cardíaca (13).

Así mismo, la Elevación Pasiva de Piernas (PLR), puede efectuarse, siendo considerada prueba de referencia actual para evaluar precarga-dependencia. Simula autotransfusión de 300 mL aproximadamente, desde extremidades inferiores al compartimento central. El protocolo estricto requiere posición inicial semisentada 45° , transición a supino con piernas elevadas 45° , medición del efecto mediante monitor de gasto cardíaco en tiempo real, lo cual puede asociarse precisamente con la medida anteriormente descrita (ITV), siendo un incremento $>10\%$ en gasto cardíaco o IVT-TSVI predictor de respuesta a



fluidos con sensibilidad 85% y especificidad 91 %. (14)

Papel del Protocolo VExUS para Evaluación de Congestión Venosa

El protocolo VExUS representa una innovación fundamental para cuantificar congestión venosa sistémica de manera no invasiva. Su metodología escalonada comprende la evaluación de la Vena Cava Inferior (VCI), siendo un diámetro <2 cm indicativo de ausencia de congestión significativa (VExUS 0). Por otro lado, un diámetro ≥ 2 cm requiere evaluación Doppler adicional, que se complementa con el abordaje diagnóstico Doppler de Vena Hepática, Vena Porta y Venas Intrarrenales (15). En el caso de la Vena Hepática, el patrón normal muestra onda S anterógrada dominante, y la congestión progresiva causa disminución (S<D) e inversión de onda S.

Para la ventana de *Doppler Vena Porta*, un análisis de flujo normal se representa por un flujo monofásico continuo. Pero en el caso de obtener un índice de pulsatilidad 30-49 % indicaría una anomalía leve, y más de ≥ 50 % severa. Y para el *Doppler de Venas Intrarrenales*, un flujo normal continuo evoluciona a bifásico y finalmente monofásico diastólico con congestión severa.

De todo ello, se integra una puntuación que clasifica los grados de congestión venosa en Grado 1 (leve, VCI dilatada con patrones normales/levemente anormales), Grado II (moderado, con un patrón severamente anormal), Grado 3 (severo con dos o más patrones severamente anormales). En anestesiología, estudios en cirugía cardíaca demuestran correlación significativa entre grados VExUS elevados y desarrollo de lesión renal aguda postoperatoria (16).

Ultrasonido en Accesos Vasculares:

Acceso Venoso Central Guiado

La evidencia sobre superioridad de la guía ecográfica para acceso venoso central es contundente. Meta-análisis múltiples documentan consistentemente aumento de tasa de éxito al primer intento, reducción del tiempo total del procedimiento y disminución drástica de complicaciones mecánicas (punción arterial, hematoma, neumotórax) (17,18)

Las guías actuales de la *American Society of Anesthesiologists* (ASA) y ESAIC, incluyendo recomendaciones PERSEUS, establecen la guía ecográfica como estándar de cuidado (recomendación fuerte) para inserción de catéter venoso central, particularmente

en vena yugular interna, independientemente de la experiencia del operador (19,20).

Además, la capacidad de comprobar el sitio de colocación del catéter central mediante ultrasonido, lo hacen no solo atractivo sino una herramienta necesaria en la modernidad, para asegurar una práctica clínica cada vez más efectiva. La prueba de burbujas ecocardiográfica (*Rapid Atrial Swirl Sign*, RASS) ofrece confirmación inmediata de posición central del catéter sin necesidad de radiografía. Para ello, se necesita una inyección rápida de 10 ml solución salina agitada por puerto distal mientras se visualiza la aurícula derecha. La aparición de microburbujas en <2 segundos confirma una adecuada posición central de la punta del catéter (21).

Un estudio de 2025 evaluando localización ecocardiográfica reportó una precisión del 99.4% para la verificación de la punta del catéter central, estableciendo un nuevo estándar para verificación. [22]

Accesos Periféricos y Arteriales

En pacientes con acceso venoso difícil, el ultrasonido permite canulación de venas profundas (basílica, braquial) no accesibles por técnica tradicional, aumentando tasas de éxito y reduciendo necesidad de acceso central (23).

Para cateterización arterial, especialmente radial, la guía ecográfica mejora significativamente éxito al primer intento y reduce complicaciones vasculares (24).

Ultrasonido Pulmonar Perioperatorio:

Diagnóstico de Patología Pleuropulmonar

El ultrasonido pulmonar (LUS) supera consistentemente a la combinación de exploración física y radiografía portátil para diagnóstico de patologías agudas (25).

Un ensayo clínico multicéntrico aleatorizado de 2020 demostró que el abordaje POCUS cardiopulmonar mejoraba significativamente la evaluación diagnóstica en insuficiencia respiratoria comparado con manejo estándar (26).

La semiología ultrasonográfica pulmonar se fundamenta en interpretación de artefactos específicos, como el pulmón Normal (deslizamiento pleural con líneas A, artefactos horizontales equidistantes), síndrome Intersticial (líneas B verticales desde línea pleural, correlacionando con edema), neumotórax (ausencia de deslizamiento pleural, con punto pulmonar patognomónico), o consolidación (patrón "hepatización" con posibles broncogramas aéreos dinámicos).



Titulación Personalizada de PEEP

El LUS permite visualización y cuantificación del reclutamiento alveolar en respuesta a cambios de PEEP. *El Lung Ultrasound Score divide el tórax* en 12 regiones, puntuadas 0-3 según pérdida de aireación: 0 (Normal líneas A), 1 (líneas B separadas ≥ 3), 2 (líneas B coalescentes), 3 (Consolidación) (27).

Un ensayo aleatorizado de 2024 demostró que la titulación de PEEP guiada por LUS redujo significativamente severidad de atelectasias y complicaciones pulmonares postoperatorias comparado con PEEP fija estándar (28).

Aplicaciones Diagnósticas Adicionales guiadas por Ultrasonido: Confirmación de Intubación Endotraqueal

La visualización transtraqueal permite confirmación inmediata de intubación correcta. La intubación traqueal muestra un artefacto único en forma de “cola de cometa”; mientras que la intubación esofágica presenta signo de “doble vía aérea” (29).

Un estudio de 2024 documentó que POCUS es significativamente más rápido que capnografía para confirmación de intubación endotraqueal (21.63 ± 7.38 vs 40.62 ± 7.93 segundos), con valor crítico en situaciones de bajo gasto cardíaco donde la capnografía puede ser falsamente negativa (30).

Evaluación Gástrica

El protocolo estandarizado evalúa antro gástrico en decúbito supino y lateral derecho, diferenciando estómago vacío (antro colapsado), líquidos claros (contenido anecoico) o contenido sólido (ecogenicidad heterogénea). Permite estratificación individualizada del riesgo de aspiración, optimizando decisiones sobre técnica anestésica en pacientes con estado de ayuno incierto (31).

Integración con Tecnologías Emergentes e Inteligencia Artificial y Robótica

Los algoritmos de aprendizaje profundo abordan la dependencia del operador mediante reconocimiento automatizado de patrones y diagnóstico asistido (32). Desarrollos destacados incluyen AI-GUIDE con sistema robótico del Massachusetts General Hospital/MIT que combina Inteligencia Artificial (IA) para identificación vascular con guía robótica milimétrica para inserción de aguja; *CERTA Access System*, como plataforma que

integra ultrasonido con tecnología de vibración de aguja para reducir deformación tisular y mejorar precisión de punción. Su utilidad sólo podrá comprobarse, sin embargo, ya que su uso se difunda a la práctica médica cotidiana. No obstante, tener la capacidad de mejorar la precisión en vivo del abordaje de estructuras empoderando el ultrasonido con inteligencia artificial, parece un buen paso al futuro de la anestesiología (33,34).

Un estudio pionero de 2025 evaluando *Apple Vision Pro* para colocación de Catéter Venoso Central (CVC) simulado reportó excelente usabilidad y mejora ergonómica significativa. La superposición holográfica de imagen ultrasonográfica en campo visual permite una alineación adecuada entre imagen y procedimiento de acuerdo a lo descrito. Faltarán estudios prospectivos por supuesto que apoyen la implementación estandarizada de estos dispositivos en la práctica médica (35).

Barreras de Implementación y Desafíos Actuales

Una encuesta nacional de 2022 a programas de residencia identificó barreras principales para uso de ultrasonografía como falta de facultad capacitada (50 %), tiempo insuficiente para enseñanza (58 %) y sobrecarga curricular (50 %). Desafíos adicionales incluyen credencialización, privilegios hospitalarios y requisitos de documentación para facturación (36).

Sin embargo, sociedades profesionales han intentado desarrollar currículas estandarizadas y vías de certificación como el Certificado POCUS Diagnóstico de ASA que requiere módulos teóricos, portafolio documentado (50 estudios cardíacos, 30 pulmonares, 30 gástricos, 30 FAST), supervisión de subconjunto y examen final. Estas iniciativas garantizan competencia uniforme y facilitan obtención de privilegios institucionales (37,38).

Prioridades futuras descritas en la literatura incluyen el desarrollo de protocolos de entrenamiento basados en simulación más eficientes, estudios rigurosos de costo-efectividad para justificar inversión institucional e investigación sobre aplicaciones en entornos de recursos limitados donde el impacto potencial del ultrasonido podría ser aún mayor (39).

Conclusiones

El ultrasonido clínico ha alcanzado una madurez importante como herramienta diagnóstica y procedimental indispensable en la medicina actual, más



aún en la anestesiología contemporánea. La evidencia revisada demuestra consistentemente su superioridad sobre técnicas tradicionales en múltiples dominios como la evaluación hemodinámica avanzada, seguridad en accesos vasculares, optimización de ventilación mecánica y diagnóstico de patologías agudas. La integración con tecnologías emergentes como inteligencia artificial y realidad aumentada podría además expandir todavía sus capacidades y abordar limitaciones actuales.

La competencia en ultrasonografía, ya no constituye habilidad opcional sino competencia fundamental del anestesiólogo moderno. Su dominio es esencial para practicar anestesiología segura, eficiente y personalizada. El desafío actual no radica en justificar su adopción, sino en superar barreras de implementación mediante formación estandarizada, desarrollo de infraestructura educativa y demostración continua de valor clínico y económico.

La transformación del ultrasonido, de herramienta auxiliar a “quinto pilar” del examen físico representa más que evolución tecnológica. Simboliza la transición hacia una era de medicina perioperatoria de precisión, donde decisiones se basan en evaluación fisiológica directa e individualizada en lugar de inferencias poblacionales. En este contexto, el ultrasonido en punto de atención se establece definitivamente como extensión indispensable de los sentidos y juicio clínico del anestesiólogo del siglo XXI.

Referencias

1. Sabath E. Point of care ultrasonography as the new “Laennec Stethoscope”. *World journal of Nephrology* 2024;13(1):90542. <https://doi.org/10.5527/wjn.v13.i1.90542>
2. Naji A, Chappid M, Ahme, Monga A, Sanders J. Perioperative point-of-care ultrasound use by anesthesiologists. *Cureus* 2021;13(5):e15217. <https://doi.org/10.7759/cureus.15217>
3. Gohad R, Jain S. The use of point-of-care ultrasound (POCUS) in anesthesiology: A narrative review. *Cureus* 2024;16(9):e70039. <https://doi.org/10.7759/cureus.70039>
4. Noor A, Liu M, Jarman, Yamanaka, Kaul M. Point-of-care ultrasound use in hemodynamic assessment. *Biomedicine* 2025;13(6):1426. <https://doi.org/10.3390/biomedicine13061426>
5. Lukyanova V, Pellegrini J, Greenier E, Anderson B, Morgan B. Point-of-Care Ultrasound in Anesthesia Care: New AANA Practice Document Adopted by AANA Board of Directors. *AANA journal* 2021;89(1):9-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33543708/>
6. Nagre AS. Focus-assessed transthoracic echocardiography: Implications in perioperative and intensive care. *Annals of Cardiac Anaesthesia* 2019;22(3):302-308. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_88_18
7. Holm JH, Frederiksen CA, Juhl-Olsen P, Sloth E. Perioperative use of focus assessed transthoracic echocardiography (FATE). *Anesthesia and Analgesia* 2021;115(5):1029-1032. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e31826dd867>
8. Oveland NP, Bogale N, Waldron B, Bech K, Sloth E. Focus assessed transthoracic echocardiography (FATE) to diagnose pleural effusions causing haemodynamic compromise. *Case Reports in Clinical Medicine* 2013;2(3):189-193. <https://doi.org/10.4236/crcm.2013.23052>
9. Hinkelbein J, Andres J, Böttiger BW, Brazzi L, De Robertis E, Einav S, et al. Cardiac arrest in the perioperative period: A consensus guideline for identification, treatment, and prevention from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care and the European Society for Trauma and Emergency Surgery. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 2023;49(5):2031-2046. <https://doi.org/10.1007/s00068-023-02271-3>
10. Magon F, Longhitano Y, Savioli G, Piccioni A, Tesaro M, Del Duca F, et al. Point-of-care ultrasound (POCUS) in adult cardiac arrest: Clinical review. *Diagnostics (Basel)* 2024;14(4):434. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040434>
11. Nieto-Pérez OR, Sánchez-Díaz JS, Solórzano-Guerra A, Márquez-Rosales E, García-Parra OF, Zamarrón-López EI, et al. Fluidoterapia intravenosa guiada por metas. *Medicina Interna de México* 2019;35(2):235-245. <https://doi.org/10.24245/mim.v35i2.2337>
12. Carrillo-Esper R, Tapia-Velasco R, Galván-Talamantes Y, Garrido-Aguirre E. Evaluación de la precarga y respuesta a volumen mediante ultrasonografía de la vena cava. *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva* 2015;29(2):105-112. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-84332015000200008&lng=es&tlng=es
13. Zapata L, Martín-Villén L, Llanos C, Fraile Gutiérrez V, Gómez López R, Jiménez Rivera JJ, et al. ¿Cómo valorar la respuesta a volumen en la UCI? Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC) 2022. <https://semicyuc.org/wp-content/uploads/2022/11/GTCICYRCP-COMO-VALORAR-LA-RESPUESTA-A-VOLUMEN-EN-LA-UCI.pdf>



14. Mallat J, Siuba MT, Abou-Arab O, Kovacevic P, Ismail K, Duggal A, et al. Changes in pulse pressure variation induced by passive leg raising test to predict preload responsiveness in mechanically ventilated patients with low tidal volume in ICU: A systematic review and meta-analysis. *Critical Care* 2025;29(1):18. <https://doi.org/10.1186/s13054-024-05238-x>
15. Chin WV, Ngai MMI, See KC. Venous excess ultrasound: A mini-review and practical guide for its application in critically ill patients. *World Journal of Critical Care Medicine* 2025;14(2):101708. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v14.i2.101708>
16. Singh K, Carvalho R. Perioperative Venous Excess Ultrasound Score (VExUS) to Guide Decongestion in a Dilated Cardiomyopathy Patient Presenting for Urgent Surgery. *Cureus* 2021;13(12):e20545. <https://doi.org/10.7759/cureus.20545>
17. Randolph AG, Cook DJ, Gonzales CA, Pribble CG. Ultrasound guidance for placement of central venous catheters: A meta-analysis of the literature. *Critical Care Medicine* 1996;24(12):2053-2058. <https://doi.org/10.1097/00003246-199612000-00020>
18. Boulet N, Pensier J, Occean BV, Peray PF, Mimoz O, Rickard CM, et al. Central venous catheter-related infections: A systematic review, meta-analysis, trial sequential analysis and meta-regression comparing ultrasound guidance and landmark technique for insertion. *Critical Care* 2024;28(1):378. <https://doi.org/10.1186/s13054-024-05162-0>
19. Lamperti M, Biasucci DG, Bland D, Buda T, De Robertis E, Di Fenza R, et al. European Society of Anaesthesiology guidelines on perioperative use of ultrasound-guided for vascular access (PERSEUS vascular access). *European Journal of Anaesthesiology* 2020;37(5):344-376. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001180>
20. Vegas A, Wells B, Braum P, Denault A, Miller Hance WC, Kaufman C, et al. Guidelines for performing ultrasound-guided vascular cannulation: Recommendations of the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2025;38(2):57-91. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2024.12.004>
21. Meggiolaro M, Scatto A, Zorzi A, Roman-Pognuz E, Lauro A, Passarella C, et al. Confirmation of correct central venous catheter position in the preoperative setting by echocardiographic "bubble-test". *Minerva Anestesiologica* 2015;81(9):989-1000. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25375312/>
22. Shen Y, Li X, Zhang H, Chang J, Zhou X. Development and feasibility of an echocardiography-guided tip location program for central venous catheter implantation. *Nursing in Critical Care* 2025;30(4):e13207. <https://doi.org/10.1111/nicc.13207>
23. Xiong X, Xiong Y, Liu G. Systematic review and meta-analysis: Safety of ultrasound-guided peripheral venipuncture and catheterization. *Annals of Palliative Medicine* 2021;10(11):12053-12061. <https://doi.org/10.21037/apm-21-3163>
24. Sherrin SMK, Viegas KM, Mustafa W, John JP, Taneja V. Ultrasound-guided dynamic needle tip positioning technique for radial artery cannulation. *Medical Research Archives* 2025;13(8). <https://doi.org/10.18103/mra.v13i8.6889>
25. Berry L, Rehnberg L, Groves P, Knight M, Stewart M, Dushianthan A. Lung ultrasound in critical care: A narrative review. *Diagnostics (Basel)* 2025;15(6):755. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15060755>
26. Kothekar AT. Combined Cardiopulmonary Ultrasound: A Treatment Changing Modality in Acute Respiratory Failure. *Indian Journal of Critical Care Medicine* 2020;24(11):1008-1009. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23651>
27. Mousa A, Klompmaker P, Tuinman PR. Setting positive end-expiratory pressure: Lung and diaphragm ultrasound. *Current Opinion in Critical Care* 2024;30(1):53-60. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000001119>
28. Ma J, Sun M, Song F, Wang A, Yang M, Jiang T, et al. Effect of ultrasound-guided individualized positive end-expiratory pressure on the severity of postoperative atelectasis in elderly patients: A randomized controlled study. *Scientific Reports* 2024;14(1):28247. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79105-8>
29. Gottlieb M, Kim DJ, Peksa GD, Westrick J, Marks A. Transtracheal ultrasound for identifying endotracheal intubation in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2025;2025(1):CD015936. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD015936>
30. Neethirajan SGR, Baskar G, Parameswari A. Focus on POCUS: Identification of Early Successful Intubation by Point-of-Care Ultrasound Versus End-Tidal Carbon Dioxide: A Prospective Comparative Study. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation* 2024;52(6):240-246. <https://doi.org/10.4274/TJAR.2024.241720>
31. Flynn DN, Schoenherr JR. Gastric ultrasound. In *StatPearls*. StatPearls Publishing 2024. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK580524/>
32. Yan L, Li Q, Fu K, Zhou X, Zhang K. Progress in the application of artificial intelligence in ultrasound-assisted medical diagnosis. *Bioengineering (Basel)* 2025;12(3):288. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12030288>
33. MIT Lincoln Laboratory. Artificial intelligence-guided ultrasound intervention device [Internet]. Consultado el 15 de octubre de 2024. Disponible en: <https://www.ll.mit.edu/r-d/projects/artificial-intelligence-guided->



ultrasound-intervention-device

34. Obvius Robotics, Inc. OBVIUS Robotics™ completes first U.S. cases with CERTA™ access system [Comunicado de prensa en Internet]. PR Newswire; 4 de septiembre de 2025. Disponible en: <https://www.prnewswire.com/news-releases/obvius-robotics-completes-first-us-cases-with-certa-access-system-302546639.html>
35. Bexten T, Boehm A, Miller J, Yalamuri SM, Read MD, Simard T, et al. Virtual ultrasound-guided central vascular access using Apple Vision Pro: An evaluation and proof of concept. *Cureus* 2025;17(7):e87274. <https://doi.org/10.7759/cureus.87274>
36. Edwards J, Ahn D, Alcaraz D, Chiles C, Khuu T, Soni NJ, et al. Point-of-care ultrasound training among anesthesiology residency programs in the United States. *BMC Anesthesiology* 2025;25(1):105. <https://doi.org/10.1186/s12871-025-02929-y>
37. ASA Committee on Economics. Point of care ultrasound (PoCUS). American Society of Anesthesiologists; 13 de marzo de 2023. Disponible en: <https://www.asahq.org/quality-and-practice-management/managing-your-practice/timely-topics-in-payment-and-practice-management/point-of-care-ultrasound-pocus>
38. American Society of Anesthesiologists. Diagnostic POCUS certificate program. 2024. Disponible en: <https://www.asahq.org/shop-asa/diagnostic-pocus-certificate-program>
39. Lentz B, Fong T, Rhyne R, Risko N. A systematic review of the cost-effectiveness of ultrasound in emergency care settings. *The Ultrasound Journal* 2021;13(1):16. <https://doi.org/10.1186/s13089-021-00216-8>